

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. Juni 2005 (23.06.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/057741 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷:

H01S 3/115

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP2004/014078

(22) Internationales Anmeldedatum:

10. Dezember 2004 (10.12.2004)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

60/528,216 10. Dezember 2003 (10.12.2003) US
60/586,735 12. Juli 2004 (12.07.2004) US

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **HIGH Q LASER PRODUCTION GMBH [AT/AT]**; Kaiser-Franz-Josef-Str. 61, A-6845 Hohenems (AT).

(72) Erfinder; und

(75) *Erfinder/Anmelder (nur für US): KOPF, Daniel [AT/AT]; Sandholzerstr. 14, A-6844 Altach (AT). LEDERER, Maximilian, Josef [DE/AT]; Schwarzen 687, A-6861 Alberschwende (AT). MORGNER, Uwe [DE/DE]; Wörtherestr. 1 c, 76776 Neuburg/Rhein (DE).*

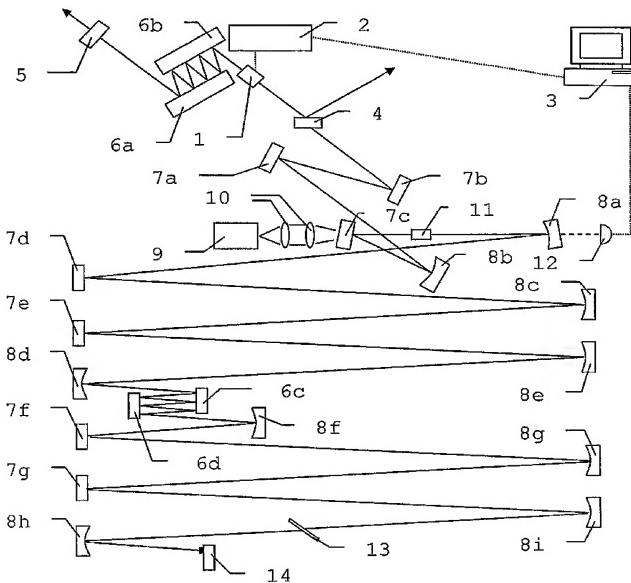
(74) Anwalt: **HARMANN, Bernd-Günther**; Büchel, Kaminski & Partner Patentanwälte Est., Austrasse 79, FL-9490 Vaduz (LI).

(81) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: HIGH-REPETITION LASER SYSTEM FOR GENERATING ULTRA-SHORT PULSES ACCORDING TO THE PRINCIPLE OF PULSE DECOUPLING

(54) Bezeichnung: HOCHREPETIERENDES LASERSYSTEM ZUR ERZEUGUNG VON ULTRAKURZEN PULSEN NACH DEM PRINZIP DER PULS-AUSKOPPLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a high-repetition laser system for generating ultra-short pulses, in particular femtosecond or picosecond pulses according to the principle of pulse decoupling. Said system comprises at least one amplifying laser medium (11), a laser resonator and a pump source for pumping the laser medium (11). Said system is operated with an electrooptical modulator as the pulse decoupling component (1), to obtain a high pulse energy with a short pulse duration.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/057741 A1



TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- mit geänderten Ansprüchen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Ein hochrepetierendes Lasersystem zur Erzeugung von ultrakurzen Pulsen, insbesondere Femto- oder Pikosekundenpulsen, nach dem Prinzip der Pulsauskopplung mit mindestens einem verstärkenden Lasermedium (11), einem Laserresonator und einer Pumpquelle zum Pumpen des Lasermediums (11) wird mit einem elektrooptischen Modulator als Pulsauskopplungskomponente (1) betrieben, so dass hohe Pulsenergien bei kurzen Pulsdauern erreicht werden können.

**Hochrepetierendes Lasersystem zur Erzeugung von
ultrakurzen Pulsen nach dem Prinzip der Puls-
Auskopplung**

- 5 Die Erfindung betrifft ein hochrepetierendes Lasersystem zur Erzeugung von ultrakurzen Pulsen nach dem Prinzip der Puls-Auskopplung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 und eine Verwendung des Lasersystems.
- 10 Bekannte Ultrakurzpuls-Lasersysteme werden zwar in einer Vielzahl von Anwendungen genutzt, wie z.B. Materialverarbeitung, Mikroskopie, Biomedizin oder der Herstellung photonischer Komponenten. Allerdings ist der Einsatz ausserhalb eines Laborbetriebs oft problematisch,
- 15 da die Laser-Systeme eine grosse Komplexität und einen hohen Handhabungsaufwand bedingen. Zusätzlich zur hohen Energie der Femtosekundenpulse spielt für den industriellen Einsatz insbesondere die Kompaktheit der Lasersysteme eine wesentliche Rolle.
- 20 Laseranordnungen nach dem Prinzip der Pulsauskopplung oder des Cavity-Dumpers erlauben die Erzeugung von Pulsen, welche für die Anwendung im Bereich der Mikrostrukturierung erforderliche Energien bzw. Pulsspitzenleistungen besitzen.
- 25 Dabei kann auf die Verwendung von komplexen Verstärkeranordnungen verzichtet werden, was zu einem kompakten Aufbau führt.
- Ein Lasersystem nach dem Prinzip des Puls-Auskopplers oder
30 Cavity Dumpers mit Pulsennergien von bis zu 100 nJ ist beispielsweise aus M. Ramaswamy, M. Ulman, J. Paye, J.G. Fujimoto, „Cavity-dumped femtosecond Kerr-lens mode-locked Ti:Al₂O₃ laser“, Optics Letters, Vol. 18, No. 21, 1. November

1993, Seiten 1822 bis 1824 bekannt. Dieses Dokument wird als durch Referenzierung in diese Anmeldung einbezogen betrachtet. Ein modengekoppelter Ti: Al_2O_3 Laser wird zur Erzeugung von 50 Femtosekunden-Pulsen mit einer Energie von 5 100 nJ bzw. Pulsspitzenleistungen von 0,1 MW und einer einstellbaren Rate bis zu 950 kHz mit einem akusto-optischen Schalter als Cavity-Dumper betrieben. Der Schalter selbst besteht aus einer Quarz-Zelle, auf die im Brewster-Winkel der Laserstrahl mit einem Spiegel fokussiert wird. Zum Pumpen wird 10 ein Argon-Laser und zur Dispersionskompensation eine nachgelagerte Strecke mit 4 Prismen verwendet.

In A. Baltuška, Z. Wie, M.S. Pshenichniko, D.A. Wiersma, Robert Szipöcs, „All-solid-state cavity-dumped sub-5-fs-laser“, Appl. Phys. B 65, 1997, Seiten 175 bis 188 ist ein Festkörper-Lasersystem beschrieben, mit dem nach dem Prinzip des Cavity-Dumpers Laserpulse einer Dauer von unter 5 Femtosekunden erzeugt werden. Dieses Dokument wird als durch Referenzierung in diese Anmeldung einbezogen betrachtet. Das verwendete Ti:Saphir-Lasermedium wird durch 20 einen wiederum diodengepumpten, frequenzverdoppelten Festkörperlaser mit Nd:YVO₄ als Lasermedium gepumpt. Die Ausbildung als Cavity-Dumper erfolgt durch eine Bragg-Zelle als akusto-optischem Schalter. Diese Anordnung erfordert 25 ein sorgfältiges Design der Kavität, damit eine Modenkopplung durch Kerr-Linseneffekt nicht bereits durch die Dispersion des akusto-optischen Modulators gestört wird. Eine mögliche Verwendung von elektro-optischen Modulatoren wird erwähnt, wobei allerdings deren 30 Beschränkung auf erzielbare Repetitionsraten von ungefähr 10 kHz hervorgehoben wird. Mit dem beschriebenen Lasersystem sollen sub-5-fs-Pulse mit einer Pulsspitzenleistung von 2 Megawatt und einer Repetitionsrate von 1 MHz realisiert werden.

Einen hochrepetierenden Laser mit Cavity-Dumping und einem elektro-optischen Schalter beschreibt E. Krüger in „High-repetition-rate electro-optic cavity dumping“, Rev. Sci. Instrum. 66 (2), Februar 1995, Seiten 961 bis 967. Dieses Dokument wird als durch Referenzierung in diese Anmeldung einbezogen betrachtet. Als Basis der Anordnung dient ein durch einen Argon-Laser synchron gepumpter modengekoppelter Farbstofflaser, wobei als Schalter eine LM 20 Pockels-Zelle aus zwei deuterierten KD*P-Kristallen mit einem Dünnschichtpolarisator Verwendung finden. Das Lasermedium besteht aus einer Lösung von Rhodamin 6G in Ethylenglykol. Die erzeugten Pulse besitzen eine Dauer von 15 Nanosekunden bei einer mittleren ausgekoppelten Leistung von 75 mW und einer Repetitionsrate von 10 MHz.

Ein Laser nach dem Cavity-Dumper-Prinzip mit elektro-optischem Schalter zeigt V. Kubecik, J. Biegert, J.-C. Diels, M.R. Kokta, „Practical source of 50 ps pulses using a flashlamp pumped Nd:YAG laser and passive all-solid-state pulse control“, Optics Communications 177 (2000), Seiten 317 bis 321. Dieses Dokument wird als durch Referenzierung in diese Anmeldung einbezogen betrachtet. Ein Nd:YAG-Lasermedium wird durch eine Blitzlampe gepumpt. Als elektro-optischer Schalter findet eine Pockels-Zelle mit dielektrischem Polarisator Verwendung. Die erzielbaren Energien der 50-Pikosekunden-Pulse werden mit 300 µJ bei Repetitionsraten von 5 Hz angegeben, wobei eine Kompression einzelner Pulse innerhalb der Kavität erfolgt.

30

Ti:Al₂O₃-Laser liegen damit in den erzielbaren Pulsspitzenleistungen zwar über den Farbstofflasern. Allerdings wird die erreichbare Pulsenergie durch die

Verwendung der akusto-optischen Modulatoren eingeschränkt, da für diese der Effekt der Selbstphasenmodulation wegen der benötigten kleinen Fokusse zu hoch wird, was in Pulsinstabilitäten oder auch Zerstörung des
5 Modulatormaterials resultieren kann. Außerdem erfolgt bei Farbstofflasern eine zeitliche Degradation des Lasermediums und das Pumpen durch Blitzlampen oder Festkörperlaser führt zu komplexen Systemen.

10 Gattungsgemässe Lasersysteme des Stands der Technik sind somit durch ihren Aufbau und die verwendeten Komponenten zu komplex und/oder in der erreichbaren Pulsenergie limitiert bzw. erreichen keine Pulsdauern im Femtosekundenbereich.

15 Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht in der Bereitstellung eines kompakten Lasersystems, insbesondere eines diodengepumpten Lasersystems nach dem Prinzip der Pulsauskopplung, welches ultrakurze Pulse mit einer Repetitionsrate grösser als 10 kHz und Pulsenergien über
20 100 nJ erzeugt.

Eine weitere Aufgabe besteht in der Bereitstellung eines kompakten Lasersystems, insbesondere ohne Elemente zur Pulsverstärkung ausserhalb der Kavität, mit einer
25 Pulsspitzenleistung grösser als 100 kW bei einer Repetitionsfrequenz grösser als 10 kHz.

Diese Aufgaben werden durch die Gegenstände des Anspruchs 1 oder der abhängigen Ansprüche gelöst bzw. die Lösungen
30 weitergebildet.

Die Erfindung betrifft ein hochrepetierendes Lasersystem nach dem Prinzip der Pulsauskopplung, bei dem ein

diodengepumpter Piko- oder Femtosekunden-Oszillatior mit einem elektro-optischen Modulator als Schalter betrieben wird.

5 Ein Vorteil des EOM im Vergleich zum AOM besteht darin, dass der EOM mit sehr grossen Strahlquerschnitten betrieben werden kann (z. B. $d = 700\mu\text{m}$), so dass höhere Energien möglich sind. Damit kann vermieden werden, dass es bei den zu erzeugenden Pulsleistungen bzw. Pulsenrgien im Schalter 10 zu exzessiver Selbstphasenmodulation (SPM) oder gar Zerstörung kommt. Ein SiO_2 -AOM benötigt hingegen typischerweise $d < 50\mu\text{m}$ bei einer Modulatorlänge von 3 mm, um die gleiche Schaltflankenkurze zu erreichen. Es sind zwar längere Modulatorzellen erhältlich bei welchen die 15 Fokusse grösser gehalten werden können. Jedoch verringert sich dabei wegen der Zunahme der Wechselwirkungslänge die angesammelte nichtlineare Phase nicht merklich. Zudem muß - um mit dem EOM-Verfahren vergleichbare Schalteffizienzen zu erreichen - der AOM in der Michelson-Konfiguration 20 betrieben werden, was einen vergleichsweise komplexen Resonatoraufbau bedeutet.

Wollte man nun z. B. am Ausgang des Pulsauskopplers Femtosekundenpulse mit $1 \mu\text{J}$ Energie und 200 fs Pulsbreite 25 erzeugen, so müsste innerhalb der Kavität typischerweise eine Pulsenrgie von $2 \mu\text{J}$ vorliegen. Diese Forderung resultiert aus der Notwendigkeit, dass der Betrieb des cavity dumped Lasers quasi-stationär sein muss, was bei hohen Repetitionsraten und Auskoppelgraden von $> 50 \%$ 30 schwierig zu erreichen ist. Bei den genannten Querschnitten und Leistungen im AOM liesse sich aufgrund der Solitonbedingung

$$|\beta_2| = \frac{\tau_{FWHM} \cdot E \cdot \kappa}{3,526} \quad (1)$$

mit

$$5 \quad \kappa = \frac{4 \cdot l_{AOM} \cdot n_2}{\lambda_0 \cdot \omega_0^2} \quad (2)$$

ein 200 fs Soliton bei 1 μm Wellenlänge nur stabilisieren,
wenn die hohe negative Netto-Dispersion von ca. -40000 fs²
in den Resonator eingebracht werden würde. Hierbei
10 bezeichnet

β_2 die resonatorinterne negative Nettodispersion,

τ_{FWHM} die Halbwertsbreite der sech²-Solitonen,

15 E die Pulsenergie,

κ den Selbstphasenmodulationsparameter,

20 l_{AOM} die einfache Länge des akusto-optischen
Modulators,

n_2 den vom Kerr-Effekt herrührenden nichtlinearen
Brechungsindex,

25 λ_0 die Vakuumwellenlänge und

ω_0 den Strahlradius im AOM.

Darüber hinaus verbleiben bei Vorliegen einer solchen Dispersion immer noch Probleme, da bei einmaligem Durchgang ein zu hoher Chirp entsteht und die Pulsparameter sich während eines Resonatorumlaufs zu stark ändern. Dies hat 5 zur Folge, dass ein stationärer Solitonbetrieb nicht möglich ist und in der Regel dispersive Strahlung im Resonator entsteht, welche dann zum Mehrfachpulsen oder dynamischer Unstabilität führt. Als Mass für eine diesbezügliche Neigung des Lasers lässt sich z. B. das 10 Verhältnis r der Resonatorperiode und der Solitonperiode definieren.

$$r = \frac{E \cdot \kappa \cdot 1,763}{\pi \cdot \tau_{FWHM} \cdot 1,134} \quad (3)$$

15 Für den stabilen Betrieb sollte dieses Verhältnis << 1 sein. Im obigen Fall läge der Wert bei ca. 3, was eindeutig zu hoch ist. Bei der Erzeugung von Femtosekundenpulsen ist es deshalb vorteilhaft, den r-Parameter kleiner als 1, insbesondere kleiner als 0,25 oder auch kleiner als 0,1 zu 20 wählen. Die Grundlage dieser Berechnung kann F. Krausz, M.E. Fermann, T. Brabec, P.F. Curly, M. Hofer, M.H. Ober, C. Spielmann, E. Wintner, und A.J. Schmidt "Femtosecond Solid-State Lasers" in IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 28, No. 10, Seiten 2097-2120, Oktober 1992 entnommen 25 werden. Dieses Dokument wird als durch Referenzierung in diese Anmeldung einbezogen betrachtet.

Für ein Femtosekunden-Lasersystem nach dem Prinzip der Pulsauskopplung ist daher die Pulsennergie mit einem EOM 30 einfacher skalierbar als mit einem AOM.

Die durch den EOM generierte Dispersion kann für typische Modulatormaterialien (z. B. BBO) und -längen relativ einfach durch eine Folge von dispersiven Komponenten, z.B. Spiegel, in der Kavität kompensiert werden. Die Anzahl der 5 dispersiven Spiegel wird durch die zu kompensierende positive Dispersion in der Kavität, zu der alle Spiegel, das Lasermedium, der Dünnschichtpolarisator und der BBO-EOM mit einem Hauptanteil beitragen, sowie durch die Solitonenbedingung bestimmt. Letztere besagt, dass für eine 10 bestimmte umlaufende Pulsennergie, einen Parameter der Selbstphasenmodulation und einer zu erzielenden Pulsbreite eine bestimmte negative Netto-Dispersion in der Kavität herrschen muss. Aufgrund der hohen Strahlquerschnitte, welche beim EOM-Schalter möglich sind, wird der Parameter 15 κ der Selbstphasenmodulation nur bestimmt durch den Strahlquerschnitt im Lasermedium und dessen nichtlinearen Brechungsindex n_2 .

Zur Dispersionskompensation können disperse Spiegel, z.B. 20 Gires-Tournois-Interferometer, Verwendung finden, die somit zur Kompensation der positiven Dispersion in der Kavität und zur Erfüllung der Solitonenbedingung dienen.

Mit einer solchen Ausgestaltung eines Lasersystems nach dem 25 Prinzip der Pulsauskopplung wurden Femtosekundenpulse mit einer Repetitionsfrequenz bis zu 1 MHz und einer Pulsennergie von 500 nJ und damit mehr als 1 MW Leistung erzeugt. Das Lasersystem wird dabei unter Verwendung der dispersiven Spiegel und eines sättigbaren Absorberspiegels 30 modengekoppelt betrieben.

Ein erfindungsgemässes Lasersystem erlaubt durch die erzielbare Strahlungscharakteristik auch die Verwendung zur

direkten, d.h. verstärkerfreie, Materialbearbeitung. Hierbei wird durch das Strahlungsfeld in direktem Kontakt mit dem Material ein Plasma generiert, das zur Bearbeitung genutzt wird.

5

Ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemässes Lasersystem wird nachfolgend schematisch dargestellt und rein beispielhaft näher beschrieben. Im einzelnen zeigen

10 Fig.1 die Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Lasersystems im Femtosekundenbereich;

15 Fig.2 die Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemässen Lasersystems im Pikosekundenbereich;

20 Fig.3 die Darstellung des Verlaufs der Pulsennergie innerhalb der Kavität in Zeitabhängigkeit für eine Repetitionsfrequenz von 15 kHz in einer Femtosekunden-Anordnung;

25 Fig.4 die Darstellung des Verlaufs der Pulsennergie innerhalb der Kavität in Zeitabhängigkeit für eine Repetitionsfrequenz von 173 kHz in einer Femtosekunden-Anordnung;

30 Fig.5 die Darstellung der Pulsevolution innerhalb der Kavität für eine Repetitionsfrequenz von 1 MHz in einer Pikosekunden-Anordnung;

Fig.6 die Darstellung der Pulsevolution nach Auskopplung ausserhalb der Kavität für eine Repetitionsfrequenz von 1 MHz in einer Pikosekunden-Anordnung;

5

Fig.7 die Darstellung der Pulsevolution innerhalb der Kavität für eine Repetitionsfrequenz von 100 kHz in einer Pikosekunden-Anordnung und

10 Fig.8 die Darstellung des Verlaufs der ausgekoppelten Energie in Abhängigkeit von der Frequenz der Auskopplung für Femto- und Pikosekunden-Anordnung.

15 In Fig.1 wird ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Lasersystems nach dem Prinzip der Pulsauskopplung für den Femtosekundenbereich dargestellt. Das Lasersystem basiert auf einer gefalteten Kavität in an sich bekannter Ausführungsform. Als Lasermedium 11 wird
20 Ytterbium gedoptes LG760 Glas verwendet, das mit einer mit 976 nm emittierenden Pumpdiode 9 über eine Kombination von zwei achromatischen Linsen 10 gepumpt wird. Weitere geeignete Materialien für das Lasermedium 11 sind beispielsweise mit Ytterbium dotierte Wolframate, wie z.B.
25 Yb:KGW oder Yb:KYW. Die Linsen 10 besitzen Brennweiten von 30 mm bzw. 75 mm. Durch einen sättigbar absorbierenden Spiegel 14 und dispersive Spiegel 6a-d, 7a-g, 8a-i zur Erzeugung der notwendigen negativen Dispersion wird eine Soliton-Modenkopplung bewirkt. Zur Vermeidung der
30 exzessiven Selbstphasenmodulation eines akusto-optischen Modulators wird eine Beta-Barium-Borat (BBO)-Pockels-Zelle als elektro-optisches Element 1 zusammen mit einem Dünnschichtpolarisator 4 zur Pulsauskopplung verwendet,

welches über eine Hochspannungsversorgung 2 und einen Rechner als Schaltsignalgenerator 3 geschaltet wird. In Abhängigkeit von der an das elektro-optische Element 1 angelegten Spannung wird die Polarisationsebene eines 5 Laserstrahls gedreht, so dass über den Dünnschichtpolarisator 4 ausgekoppelt werden kann.

In der Kavität baut sich ein Puls aus dem Rauschen oder einem von einem vorhergehenden Puls verbliebenen 10 Strahlungsfeld auf und wird bei jedem Durchgang durch das Lasermittel 11 verstärkt, wobei mehrfache Reflexionen an den dispersiven Spiegeln 6c-d, 7a-g, 8a-i erfolgen. Nach einer gewissen Anzahl von Resonatorumläufen und Durchgängen 15 durch das verstärkende Lasermittel 11 wird der Puls durch eine Rotation der Polarisation mittels Schalten des elektrooptischen Elements 1 über den Dünnschichtpolarisator 4 als Laserpuls ausgekoppelt. Diese Anordnung stellt lediglich ein Ausführungsbeispiel für eine Laseranordnung nach dem Prinzip der Pulsauskopplung dar.

20

Die einzelnen Komponenten der Laseranordnung in Fig.1 sind wie folgt bezeichnet

- 1 elektro-optisches Element
- 2 Hochspannungsversorgung
- 25 3 Schaltsignalgenerator
- 4 Dünnschichtpolarisator
- 5 Hochreflektor
- 6a-d Dispersiver Planar-Spiegel
- 7a-g Dispersiver Planar-Spiegel
- 30 8a-i Dispersiver gekrümmter Spiegel
- 9 Pumpdiode
- 10 Achromatische Linse
- 11 Lasermittel

- 12 Photodiode
13 Doppelbrechender Filter
14 Sättigbar absorbierender Spiegel

5 Eine weitere geeignete Komponente für einen elektrooptischen Modulator stellt beispielsweise eine Zelle aus RTiOPO₄ oder Rubidium-Titanyl-Phosphat (RTP) dar. Aufgrund der auftretenden thermischen Drifteffekte ist eine Nachjustierung oder eine diesbezügliche Regelung
10 vorteilhaft.

Fig.2 zeigt einen diodengepumpten, SESAM-modengekoppelten Nd:YVO₄-Pikosekundenlaser nach dem Prinzip der Pulsauskopplung mit EOM als zweites Ausführungsbeispiel des
15 erfindungsgemässen Lasersystems. Das Lasersystem ähnelt der in Fig.1 dargestellten Anordnung und basiert ebenfalls auf einer gefalteten Kavität in an sich bekannter Ausführungsform, die in Fig.2 jedoch aus Anschaulichkeitsgründen nicht explizit dargestellt ist. Als
20 Lasermedium 11' wird mit einer teildurchlässigen Spiegelschicht 15 versehenes Nd:YVO₄ verwendet, das mit einer Pumpdiode 9' über eine Kombination von zwei achromatischen Linsen 10' gepumpt wird. Die Pulsauskopplung erfolgt über ein elektro-optisches Element 1' und einen
25 Dünnschichtpolarisator 4', Die Modenkopplung wird durch einen sättigbar absorbierenden Spiegel 14' bewirkt. Die Kavität wird durch einen gekrümmten Spiegel 16 gefaltet.

Im Gegensatz zum Femtosekunden-Lasersystem der Fig.1 kann
30 auf ein Dispersionsmanagement verzichtet werden, so dass keine Folge von dispersiven Spiegelementen notwendig ist.

Bei einer Erzeugung von Pikosekundenpulsen ist es aus Stabilitätsgründen vorteilhaft, die nichtlineare Phase kleiner als 100 mrad, insbesondere kleiner als 10 mrad zu wählen, wobei die nichtlineare Phase pro Resonatorumlauf 5 und pro 1% Modulationstiefe des sättigbaren Absorberspiegels berechnet wird. Die Auswirkung der Selbstphasenmodulation auf die Stabilität eines Pikosekundenlasers wird beispielsweise in R. Paschotta, U. Keller, „Passive mode locking with slow saturable 10 absorbers“, Appl. Phys. B 73, Seiten 653-662, 2001 beschrieben. Durch die Wahl eines entsprechend grossen Modendurchmessers am elektro-optischen Modulator und im Lasermedium lässt sich die nichtlineare Phase hinreichend klein halten.

15

Alternativ zu den Anordnungen der Fig.1 und Fig.2 kann auch ein scheibenförmiges Lasermedium in sogenannter Thin-Disk-Anordnung verwendet werden, wobei dieses neben einem einem runden Pumplichtfleck auch mit asymmetrischen 20 Pumplichtflecken gepumpt werden kann. Dabei wird zur Vermeidung von zu hoher thermischer Belastung des laseraktiven Materials ein im wesentlichen länglicher Pumplichtfleck auf ein auf einer Temperatursenke angeordnetes Lasermedium eingestrahlt, so dass ein 25 zweidimensionaler Wärmefluß entsteht. Hierdurch werden eine verbesserte Kühlung und eine Reduzierung der maximalen Temperatur bewirkt. Eine solche Anordnung ist beispielsweise in der PCT/EP/2004/005813 beschrieben. Zur Erzeugung eines länglichen Pumplichtflecks kann auch der 30 Effekt mehrfacher Reflexionen verwendet werden. Hierbei kann durch eine gegenüber einer anderen Oberfläche verkippte Spiegelfläche eine mehrfache Reflexion mit veränderlichem Abstand der Reflexionspunkte erreicht

werden, die nach einer gewissen Anzahl von Reflexionen zur Umkehr der Richtung führt. In diesem Beispiel erfolgen die Reflexionen zwischen der Spiegelfläche und einer Reflexionsschicht im oder auf dem Lasermedium, wobei diese 5 Reflexionsschicht zwischen Lasermedium und Temperatursenke angebracht sein kann. Der Pumplichtstrahl, z.B. aus einer einzigen oder einer Mehrzahl von Laserdioden, wird bei diesem Setup von einer Seite ein- und wieder ausgekoppelt, so daß eine konstruktiv vorteilhafte Anordnung möglich 10 wird. Alternativ kann aber auch die Spiegelfläche planparallel zur Reflexionsschicht angeordnet sein, so daß eine Richtungsumkehr des Teilstrahls durch einen weiteren Spiegel in an sich bekannter Weise erfolgt. In analoger Weise können auch der Lasermode und damit das zu 15 verstärkende Strahlungsfeld mehrfach durch das Lasermedium geführt werden und somit mehrfache Verstärkung erfahren. Die Scheibenanordnung hat gerade mit Hinblick auf die Minimierung der Selbstphasenmodulation den Vorteil, dass die optische Länge des optischen Lasermediums sehr gering 20 gehalten werden kann (<<1mm typisch).

Fig.3 und Fig.4 zeigen den Verlauf der Pulsennergie innerhalb der Kavität in Zeitabhängigkeit. Durch das erfindungsgemäße Lasersystem können Repetitionsraten der 25 Auskopplung bis über 1MHz erzielt werden, wobei der Kontrast zwischen ausgekoppelten Pulsen und den schwachen Hintergrund-Pulsen besser als 1:1000 ist. Als Pulsennergien werden mehr als 400 nJ erreicht, was Pulsspitzenleistungen von mehr als 1 MW entspricht. Die spektrale Breite des 30 Ausgangs liegt bei 4 nm und die Dauer der ausgekoppelten Pulse beträgt ca. 300 fs, was durch Autokorrelation bestimmt wurde. Damit resultiert ein Zeit-Bandbreiten-Produkt von 0,33, was nahe an der Fourier-Grenze liegt.

Fig.3 und Fig.4 zeigen typische Verläufe der Relaxation zwischen den Pulsauskopplungen. Fig.3 zeigt den Verlauf bei einer Repetitionsrate von 15 kHz und Fig.3 bei 173 kHz. In Fig.4 wird dabei nach jeder Auskopplung wieder ein stationärer Zustand erreicht, wobei die Relaxationsschwingung stark gedämpft ist, was mit der Soliton-Pulsdynamik erklärt werden kann. In Fig.4 erfolgt die Auskopplung noch während des Aufbaus des Strahlungsfeldes und damit vor Erreichen eines stationären Zustands.

In Fig.5 erfolgt die Darstellung der Pulsevolution innerhalb der Kavität für eine Repetitionsfrequenz von 1 MHz in einer Pikosekunden-Anordnung mit einem Nd:Vanadat Laser mit EOM. Die Pulsevolution ist als Funktion der Zeit und bzgl. eines Bezugswertes normiert aufgetragen. Dargestellt sind die einzelnen Auskoppelvorgänge und der nachfolgende Pulswiederaufbau. Der Auskoppelgrad beträgt ca. 40% und die dabei ausserhalb der Kavität gemessene Pulsenegie beträgt ca. 1.7 μ J.

Die Pulsevolution nach Auskopplung und damit ausserhalb der Kavität wird für dieses Beispiel in Fig.6 dargestellt.

Fig.7 zeigt die Darstellung der Pulsevolution innerhalb der Kavität für eine Repetitionsfrequenz von 100 kHz in einer Pikosekunden-Anordnung. Die Relaxationsschwingungen des Lasers zwischen den einzelnen Auskoppelvorgängen sind deutlich zu erkennen.

30

In Fig.8 wird der Verlauf der ausgekoppelten Energie in Abhängigkeit von der Frequenz der Auskopplung für den Pikosekunden-Fall dargestellt. Die beobachtete Überhöhung

bei ca. 400 kHz korrespondiert dabei mit dem ersten Maximum der Relaxationsschwingung, welche sich bei dieser Auskoppelfrequenz einstellt.

5 Es versteht sich, dass die dargestellten Lasersysteme bzw. Laseranordnung nur Ausführungsbeispiele von vielen erfindungsgemäss realisierbaren Ausführungsformen darstellen und der Fachmann alternative Realisierungsformen des Laseraufbaus, z.B. unter Verwendung anderer
10 Resonatoranordnungen, Resonatorkomponenten oder Pumpverfahren, wie z. B. Scheibenlaser (Thin-Disk-Laser), ableiten kann. Insbesondere ist es möglich, die Schalt- und/oder Regelemente über die angegebenen Beispiele hinaus anders zu gestalten, beispielsweise durch Verwendung
15 alternativer dispersiver Komponenten, Lasermedien oder anderer elektro-optischer Elemente, welche auch höhere Repetitionsraten realisierbar machen.

Patentansprüche

1. Hochrepetierendes Lasersystem zur Erzeugung von
ultrakurzen Pulsen, insbesondere Femto- oder
5 Pikosekundenpulsen, nach dem Prinzip der Pulsauskopplung
mit mindestens

- einem verstärkenden Lasermedium (11,11'),
- einem Laserresonator mit mindestens einem
Resonatorspiegel (6a-d,7a-g,8a-i,16,14,14') und
mindestens einer Pulsauskopplungskomponente (1,1')
und
- einer Pumpquelle (9,9'), insbesondere eine
Laserdiodenquelle, zum Pumpen des Lasermediums
(11,11'),

15 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Pulsauskopplungskomponente (1,1') ein
elektrooptischer Modulator ist.

2. Hochrepetierendes Lasersystem nach Anspruch 1,

20 **dadurch gekennzeichnet, dass**
der elektrooptische Modulator eine BBO-Zelle ist.

3. Hochrepetierendes Lasersystem nach Anspruch 1,

25 **dadurch gekennzeichnet, dass**
der elektrooptische Modulator eine RTP -Zelle ist,
insbesondere mit einer Komponente zum Ausgleich einer
thermischen Drift.

4. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der

30 vorangehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch

wenigstens einen dispersiven Spiegel (6a-d, 7a-g, 8a-i) zur Dispersionskompensation, insbesondere ein Gires-Tournois-Interferometer.

- 5 5. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche,
gekennzeichnet durch
wenigstens einen sättigbaren Absorberspiegel (14, 14').
- 10 6. Hochrepetierendes Lasersystem nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasersystem so ausgebildet ist, dass bei der Erzeugung von Pikosekundenpulsen die nichtlineare Phase kleiner als 100 mrad, insbesondere kleiner als 10 mrad
15 ist, wobei die nichtlineare Phase pro Resonatorumlauf und pro 1% Modulationstiefe des sättigbaren Absorberspiegels berechnet wird.
- 20 7. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasersystem so ausgebildet ist, dass bei der Erzeugung von Femtosekundenpulsen der r-Parameter kleiner als 1, insbesondere kleiner als 0,25 ist.
25
- 25 8. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasermedium (11, 11') Ytterbium-gedoptes Glas oder
30 Nd:YVO₄ ist.
- 30 9. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasermedium (11,11') Ytterbium dotierte Wolframate,
insbesondere Yb:KGW oder Yb:KYW, aufweist.

5 10. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der
vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasermedium eine scheibenförmige Geometrie aufweist.

10 11. Hochrepetierendes Lasersystem nach einem der
vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Pumpquelle so ausgebildet und angeordnet ist, dass
ein Pumplichtfleck mit einem Verhältnis von Länge zu
15 Breite von wenigstens 2:1 ausgebildet wird, wobei der
Pumplichtfleck aus einem einzigen Teilstrahl oder der
Kombination von mehreren Teilstrahlen besteht,
vorzugsweise wobei die Teilstrahlen von Laserdioden
erzeugt werden.

20 12. Verwendung eines hochrepetierenden Lasersystems nach
einem der vorangehenden Ansprüche zur unmittelbaren
Materialbearbeitung durch Plasmaerzeugung.

25

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 11 April 2005 (11.4.2005) eingegangen;
ursprünglicher Ansprüche 1-12 durch geänderte Ansprüche 1-11 ersetzt (3 Seiten)]

1. Hochrepetierendes modengekoppeltes
Ultrakurzpulsasersystem zur Erzeugung von Femto- oder
5 Pikosekundenpulsen, nach dem Prinzip der Pulsauskopplung
mit mindestens
 - einem verstärkenden Lasermedium (11,11'),
 - einem Laserresonator mit mindestens einem
Resonatorspiegel (6a-d,7a-g,8a-i,16,14,14') und
mindestens einer Pulsauskopplungskomponente (1,1'),
 - einem sättigbaren Absorberspiegel (14,14') und
 - einer Pumpquelle (9,9'), insbesondere eine
Laserdiodenquelle, zum Pumpen des Lasermediums
(11,11'),
- 10 15 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Pulsauskopplungskomponente (1,1') ein
elektrooptischer Modulator ist.
- 20 25 30 3. Ultrakurzpulsasersystem nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der elektrooptische Modulator eine BBO-Zelle ist.
3. Ultrakurzpulsasersystem nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der elektrooptische Modulator eine RTP -Zelle ist,
insbesondere mit einer Komponente zum Ausgleich einer
thermischen Drift.
4. Ultrakurzpulsasersystem nach einem der vorangehenden
Ansprüche,
gekennzeichnet durch

wenigstens einen dispersiven Spiegel (6a-d, 7a-g, 8a-i) zur Dispersionskompensation, insbesondere ein Gires-Tournois-Interferometer.

- 5 5. Ultrakurzpulsasersystem nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasersystem so ausgebildet ist, dass bei der
Erzeugung von Pikosekundenpulsen die nichtlineare Phase
kleiner als 100 mrad, insbesondere kleiner als 10 mrad
10 ist, wobei die nichtlineare Phase pro Resonatorumlauf
und pro 1% Modulationstiefe des sättigbaren
Absorberspiegels berechnet wird.
- 15 6. Ultrakurzpulsasersystem nach einem der vorangehenden
Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasersystem so ausgebildet ist, dass bei der
Erzeugung von Femtosekundenpulsen der r-Parameter
kleiner als 1, insbesondere kleiner als 0,25 ist.
20 7. Ultrakurzpulsasersystem nach einem der vorangehenden
Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasermedium (11,11') Ytterbium-gedoptes Glas oder
25 Nd:YVO₄ ist.
- 20 8. Ultrakurzpulsasersystem nach einem der vorangehenden
Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasermedium (11,11') Ytterbium dotierte Wolframate,
insbesondere Yb:KGW oder Yb:KYW, aufweist.

9. Ultrakurzpulsasersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Lasermedium eine scheibenförmige Geometrie aufweist.

5

10. Ultrakurzpulsasersystem nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Pumpquelle so ausgebildet und angeordnet ist, dass
ein Pumplichtfleck mit einem Verhältnis von Länge zu
Breite von wenigstens 2:1 ausgebildet wird, wobei der
Pumplichtfleck aus einem einzigen Teilstrahl oder der
Kombination von mehreren Teilstrahlen besteht,
vorzugsweise wobei die Teilstrahlen von Laserdioden
erzeugt werden.

10

15

20

11. Verwendung eines hochrepetierenden modenengekoppelten Ultrakurzpulsasersystems nach einem der vorangehenden Ansprüche zur unmittelbaren Materialbearbeitung durch Plasmaerzeugung.

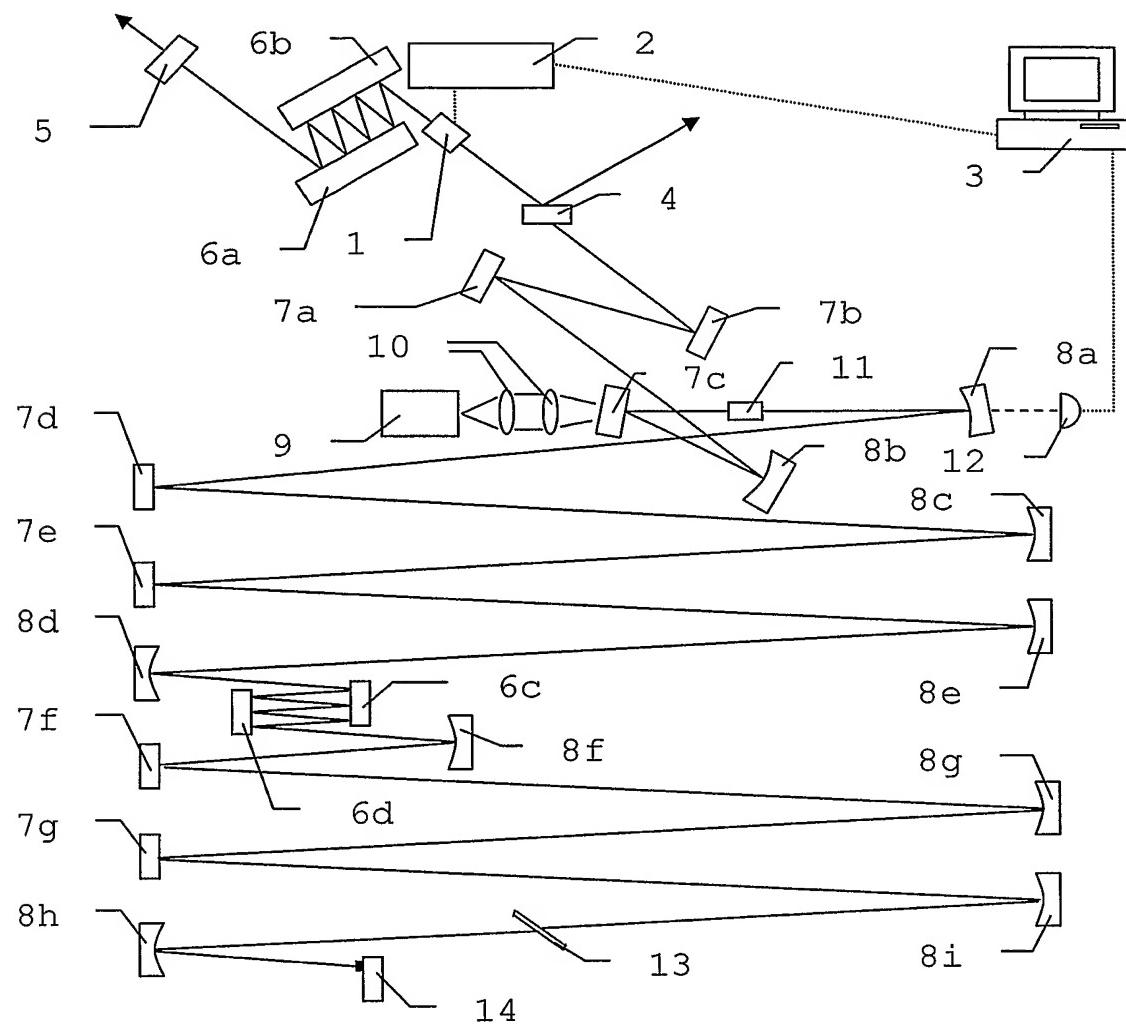


Fig. 1

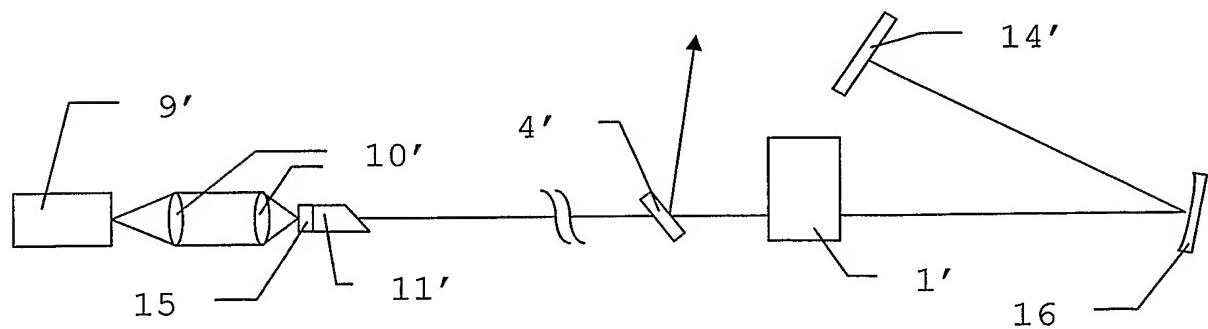


Fig. 2

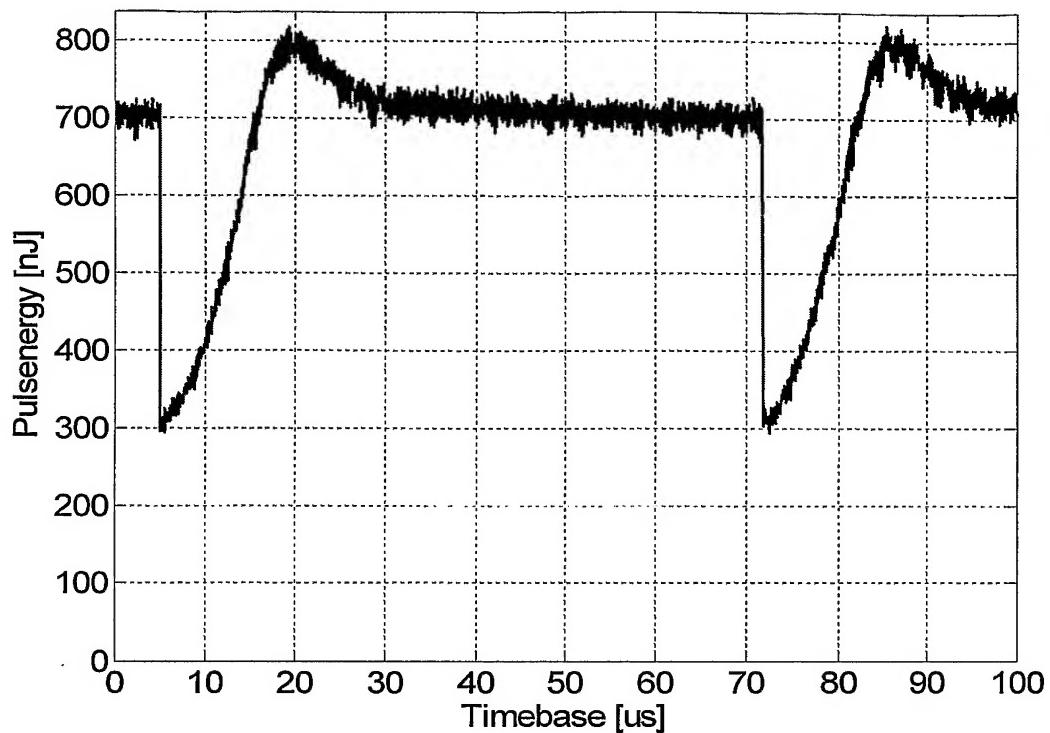


Fig. 3

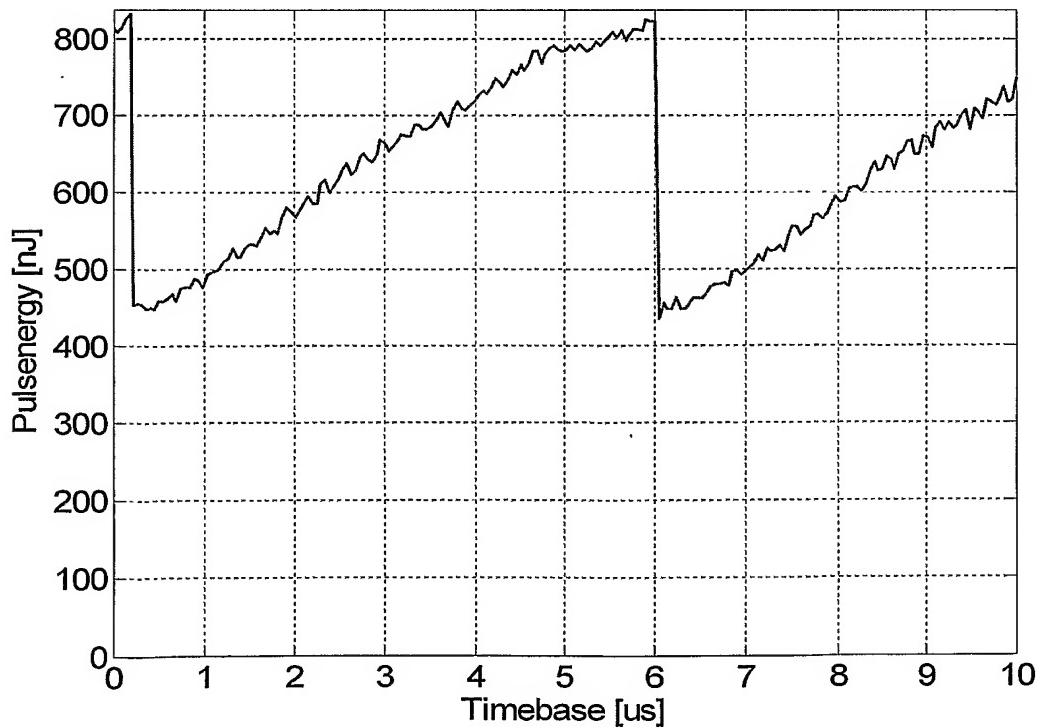


Fig. 4

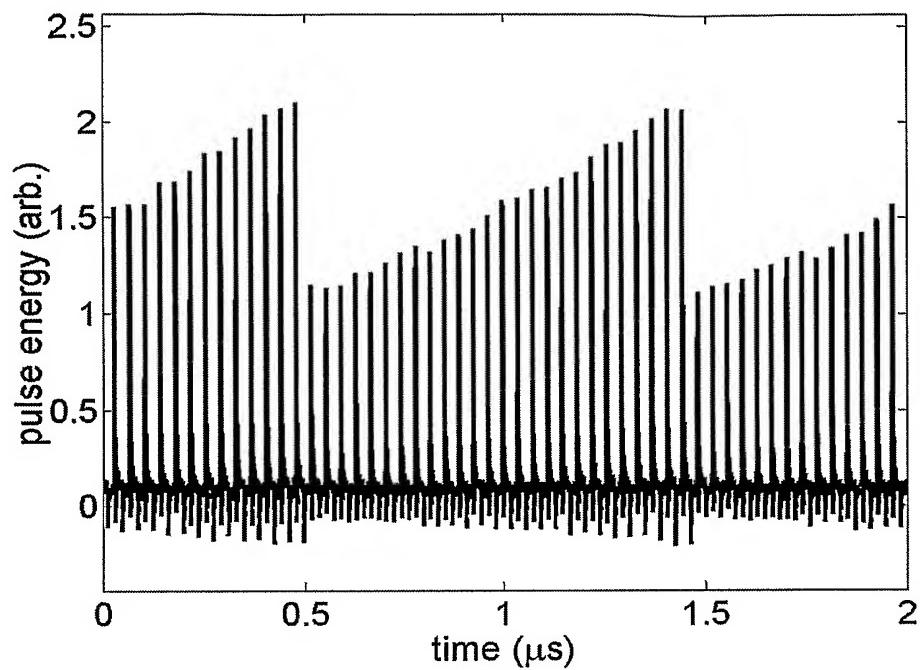


Fig. 5

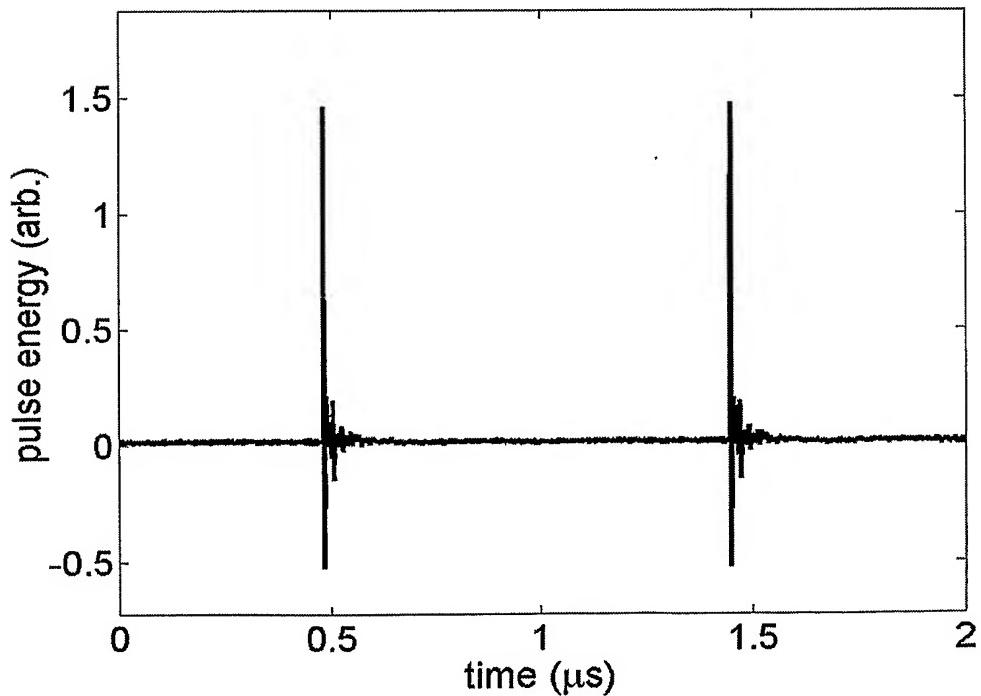


Fig. 6

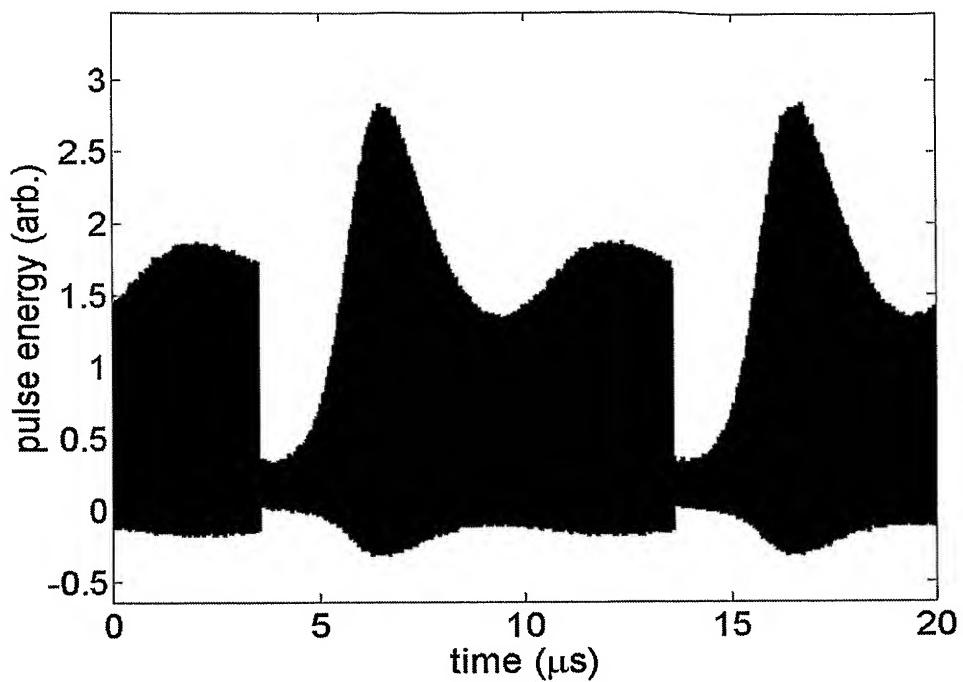


Fig. 7

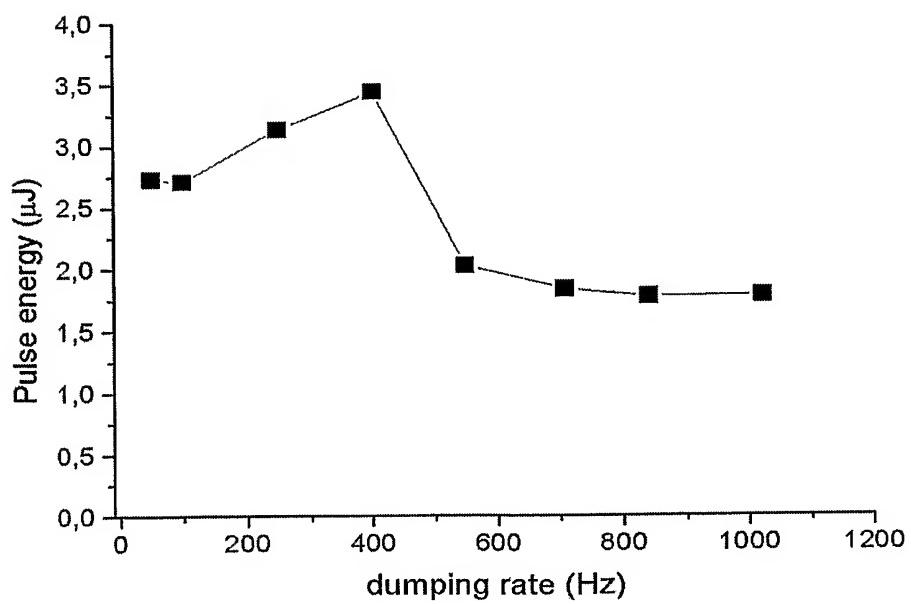


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter

Application No

PCT/EP2004/014078

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01S3/115

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHEDMinimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 848 080 A (DAHM ET AL) 8 December 1998 (1998-12-08)	1
Y	abstract; claim 1; figures 1,4-15 column 1, lines 5-21 column 3, lines 10-16 column 4, line 6 - column 6, line 12 -----	2-12
X	US 5 870 421 A (DAHM ET AL) 9 February 1999 (1999-02-09)	1
Y	abstract; claim 1; figures 1,4-15,19,20 -----	2-12
X	EP 0 949 730 A (JMAR TECHNOLOGY COMPANY) 13 October 1999 (1999-10-13)	1
Y	abstract; claims 11,17-21,23; figures 1-3,7 paragraphs '0007!, '0010! - '0020!, '0026!, '0027!, '0032! -----	2-12
	-/-	

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

28 January 2005

08/02/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gnugesser, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter

Application No

PCT/EP2004/014078

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	RAYBAUT P ET AL: "Diode-pumped 100-fs lasers based on a new apatite-structure crystal : Yb<3+>:SrY4(SiO4)30" LASERS AND ELECTRO-OPTICS EUROPE, 2003. CLEO/EUROPE. 2003 CONFERENCE ON MUNICH, GERMANY 22-27 JUNE 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 22 June 2003 (2003-06-22), pages 423-423, XP010711980 ISBN: 0-7803-7734-6 the whole document -----	1
X	GLOSTER L A W ET AL: "Diode-pumped Q-switched Yb:S-FAP laser" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, vol. 146, no. 1-6, 15 January 1998 (1998-01-15), pages 177-180, XP004119416 ISSN: 0030-4018 the whole document -----	1
A	US 4 896 119 A (WILLIAMSON ET AL) 23 January 1990 (1990-01-23) abstract; figures 1,2 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intell

Application No

PCT/EP2004/014078

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5848080	A	08-12-1998	AU	7379398 A	08-12-1998
			AU	7379498 A	08-12-1998
			WO	9852257 A1	19-11-1998
			WO	9852258 A1	19-11-1998
US 5870421	A	09-02-1999	AU	7379398 A	08-12-1998
			AU	7379498 A	08-12-1998
			WO	9852257 A1	19-11-1998
			WO	9852258 A1	19-11-1998
EP 0949730	A	13-10-1999	US	6016324 A	18-01-2000
			EP	0949730 A2	13-10-1999
			JP	11330597 A	30-11-1999
			SG	75166 A1	19-09-2000
US 4896119	A	23-01-1990	NONE		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter

es Aktenzeichen

PCT/EP2004/014078

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01S3/115

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 848 080 A (DAHM ET AL) 8. Dezember 1998 (1998-12-08)	1
Y	Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen 1,4-15 Spalte 1, Zeilen 5-21 Spalte 3, Zeilen 10-16 Spalte 4, Zeile 6 – Spalte 6, Zeile 12	2-12
X	US 5 870 421 A (DAHM ET AL) 9. Februar 1999 (1999-02-09)	1
Y	Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildungen 1,4-15,19,20	2-12
	----- -/-	

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- ° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28. Januar 2005

08/02/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-2016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gnugesser, H

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte

les Aktenzeichen

PCT/EP2004/014078

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 949 730 A (JMAR TECHNOLOGY COMPANY) 13. Oktober 1999 (1999-10-13)	1
Y	Zusammenfassung; Ansprüche 11,17-21,23; Abbildungen 1-3,7 Absätze '0007!, '0010! - '0020!, '0026!, '0027!, '0032! -----	2-12
X	RAYBAUT P ET AL: "Diode-pumped 100-fs lasers based on a new apatite-structure crystal : Yb<3+>:SrY4(SiO4)30" LASERS AND ELECTRO-OPTICS EUROPE, 2003. CLEO/EUROPE. 2003 CONFERENCE ON MUNICH, GERMANY 22-27 JUNE 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 22. Juni 2003 (2003-06-22), Seiten 423-423, XP010711980 ISBN: 0-7803-7734-6 das ganze Dokument -----	1
X	GLOSTER L A W ET AL: "Diode-pumped Q-switched Yb:S-FAP laser" OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL, Bd. 146, Nr. 1-6, 15. Januar 1998 (1998-01-15), Seiten 177-180, XP004119416 ISSN: 0030-4018 das ganze Dokument -----	1
A	US 4 896 119 A (WILLIAMSON ET AL) 23. Januar 1990 (1990-01-23) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern

s Aktenzeichen

PCT/EP2004/014078

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5848080	A	08-12-1998	AU	7379398 A	08-12-1998
			AU	7379498 A	08-12-1998
			WO	9852257 A1	19-11-1998
			WO	9852258 A1	19-11-1998
US 5870421	A	09-02-1999	AU	7379398 A	08-12-1998
			AU	7379498 A	08-12-1998
			WO	9852257 A1	19-11-1998
			WO	9852258 A1	19-11-1998
EP 0949730	A	13-10-1999	US	6016324 A	18-01-2000
			EP	0949730 A2	13-10-1999
			JP	11330597 A	30-11-1999
			SG	75166 A1	19-09-2000
US 4896119	A	23-01-1990	KEINE		